

转载自《电力系统保护与控制》2019年48卷1期

引用格式: 颜湘武, 赵帅帅, 董清, 等. 电动汽车充电机性能综合评估[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(1): 164-171.

YAN Xiangwu, ZHAO Shuaishuai, DONG Qing, et al. Comprehensive evaluation of electric vehicle charger performance[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(1): 164-171.

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190223

电动汽车充电机性能综合评估

颜湘武, 赵帅帅, 董清, 王玲, 刘子胜, 白帅涛, 孙雪薇

(河北省分布式储能与微网重点实验室(华北电力大学), 河北保定 071003)

摘要: 为保障电动汽车充电机安全可靠运行, 解决充电机性能故障难以识别的问题, 论述了电动汽车充电机性能状态评估研究现状并提出一种充电机性能状态综合评估方法。首先分析现有电动汽车充电标准, 构建了充电机性能评估指标体系。其次运用层次分析法和熵权法, 确定指标的综合权重。然后利用模糊综合评判理论建立评价模型, 实现对充电机性能状态的综合评估。最后以一台充电机为例进行性能评估分析。结果论证了所提出指标体系的有效性和评估方法的实用性, 能够为制定充电设备的运行维护方案提供依据。

关键词: 电动汽车; 充电机; 状态评估; 层次分析法; 熵权法; 模糊综合评判

Comprehensive evaluation of electric vehicle charger performance

YAN Xiangwu, ZHAO Shuaishuai, DONG Qing, WANG Ling, LIU Zisheng, BAI Shuitao, SUN Xuewei

(Hebei Key Laboratory of Distributed Energy Storage and Microgrid (North China Electric Power University),
Baoding 071003, China)

Abstract: In order to guarantee the safe and reliable operation of the electric vehicle charger, the status quo of the performance evaluation of the electric vehicle charger is reported and a comprehensive evaluation method of the performance status of the charger is proposed. Firstly, based on the analysis of the current charging standards of electric vehicles, the evaluation index system of the health status of charging equipment is constructed. Secondly, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the entropy method are combined to determine the comprehensive weight of the indicators. Then the fuzzy comprehensive evaluation is used to evaluate the health states of charging equipment. Finally, the above indicator system and evaluation method are used to evaluate a charger. The results show the validity of the proposed index system and the practicability of the evaluation method, which can provide a basis for the development of operation and maintenance plans for charging equipment.

This work is supported by Natural Science Foundation of Hebei Province (No. E2018502134) "AC/DC Charger Interoperability Test Method Orienting to EV Charging Facility Onsite Detection and Technical Research of Fault Feature Analysis".

Key words: EV; charger; condition assessment; AHP; entropy method; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

随着化石能源危机的加剧和生态环境的不断恶化, 采用新的能源方式替代燃油车以此减少大气污染越显十分必要。电动汽车将电能转化为机械动力环保节能, 实现了汽车尾气零排放的突破, 成为新一代的代步工具, 其发展前景广阔并有取代燃

油车的趋势。充换电设备作为和其配套的基础设施, 与电动汽车的发展相辅相成, 其安全、可靠、便捷的运行方式是维持电动汽车可持续发展的基础^[1-2], 其故障特征及保护控制策略对于充电设备所在配电网的安全运行十分重要^[3]。

构建有效的评估指标体系, 提高充电机运维评估效率, 是保证充电设施系统安全、可靠运行的基本手段之一^[4]。文献[5]强调了评价指标体系的构建对充电机性能评价的重要性, 并从多个方面构建了充电机性能评价指标体系。由于当前国内充电机的发展尚不完善, 各项标准存在地区性差异, 导致对

基金项目: 河北省自然科学基金项目资助(E2018502134)“面向电动汽车充电设施现场检测的交直流充电接口互操作性测试方法和故障特征分析技术研究”

充电机统一管理和评估的规程难以确立。本文结合现场实际运维问题,将充电机特性的指标体系划分为一般性能、电气性能、安全性能三部分进行状态评估。

选用合理、高效的评估方法能够及时准确地定位充电机故障,使设备运维更具有针对性,是保证充电设施系统安全、可靠运行的基本方法之一。文献[6]采用模糊层次分析法对充电机电气和安全性能进行了评估。层次分析法的特点是简洁、系统,但主观性强,评估结果缺乏客观性,采用客观权重与之结合计算综合权重将会更合理^[7]。熵权法属于客观赋权方法,能够避免专家判断的主观随意性误差对权重结果的影响,将其和层次分析法结合使用,所确定的综合权重更可靠^[8-11]。

本文在分析现有电动汽车充电标准的基础上,综合考虑评估要素和评价指标,对充电机性能状态进行研究。首先从3个方面选取了18个指标,构建了评估电动汽车充电机健康状态的评价体系;其次将层次分析法和熵权法结合确定各指标的综合权重;然后利用模糊综合评判的理论对充电机性能状态进行评估;最后应用上述指标体系和评估方法对一台充电机进行评估,论证了指标体系的有效性和评估方法的实用性。

1 指标体系的构建

电动汽车充电机指标体系的构建对高效合理地评估充电机的状态至关重要。电动汽车充电机的评估指标多涉及电气性能、安全性能、桩体状况。对于电动汽车充电机性能的评估,国内还没有具体可参照的指标体系。在此情况下,本文在考虑充电机安全可靠运行的基础上,按照客观性、系统完备性、可独立性以及可操作性强的原则并结合现行充电机检测标准^[12-14],综合考虑了一般性能、电气性能和安全性能三个参考面,构建了一套适用于电动汽车充电机性能评估的指标体系,其具体内容如表1所示。

2 指标评估值的处理方法

对于充电机的性能指标可以分为定量指标和定性指标两种。因为每个状态指标量的单位不一致,无法通过原始数据对充电机做出评估,所以需要对各指标进行统一化处理。本文从对评估指标的优劣程度出发,将指标的评估值采用百分制的方式进行管理。对于定量指标分值通过构造分段函数对其进行打分;定性指标根据运维人员或专家的经验,对充电机指标的优劣程度进行打分;得分越高说明充电机的运行状况越优^[15-17]。

表1 电动汽车充电机性能评估指标体系

Table 1 Performance status evaluation index system of electric vehicle charging equipment

目标层	准则层	指标层	
电动汽车充电机 性能评估指标 体系 A ₀	一般性能 B ₁	外观性能 C ₁₁	
		IP 防护等级 C ₁₂	
		噪声强度层 C ₁₃	
	电气性能 B ₂	稳压精度 C ₂₁	
		稳流精度 C ₂₂	
		输出电压整定误差 C ₂₃	
		输出电流整定误差 C ₂₄	
		纹波系数 C ₂₅	
		效率 C ₂₆	
		功率因数 C ₂₇	
		安全性能 B ₃	输入过压保护 C ₃₁
			输入欠压保护 C ₃₂
	输出过压保护 C ₃₃		
	输出过流保护 C ₃₄		
	限压特性 C ₃₅		
	限流特性 C ₃₆		
	安全告警 C ₃₇		
	绝缘性能 C ₃₈		

2.1 定量指标

对于定量指标,按照对应的指标状况,建立精度值和得分值之间的函数关系,部分指标对应函数关系列举如下。

1) 稳压精度

在标准 NB/T 33001 中规定充电机的输出电压稳压精度范围为 $\pm 0.5\%$,本文规定在稳压精度为限值 $\pm 0.5\%$ 时定义得分为80,在稳压精度为 $\pm 1\%$ 时定义得分为60,且指标得分和精度值满足线性函数关系 $y = \pm 40x + 100$ 。

2) 稳流精度

在标准 NB/T 33001 中规定充电机的输出电压稳流精度范围为 $\pm 0.1\%$,本文规定在稳流精度为限值 $\pm 0.1\%$ 时定义得分为80,在稳流精度为 $\pm 2\%$ 时定义得分为60,且得分和精度值满足线性函数关系 $y = \pm 20x + 100$ 。

3) 纹波系数

在标准 NB/T 33001 中规定充电机的纹波系数范围为 $\pm 0.5\%$,本文规定在纹波系数为限值 $\pm 0.5\%$ 时定义得分为80,在纹波系数为 $\pm 1\%$ 时定义得分为60,且得分和精度值满足线性函数关系 $y = \pm 40x + 100$ 。

4) 输出电压整定误差

在标准 NB/T 33001 中规定充电机的输出电压整定误差范围为 $\pm 0.5\%$,本文规定在输出电压整定

误差为限值±0.5%时定义得分为80,在输出电压整定误差为±1%时定义得分为60,且得分和精度值满足线性函数关系 $y = \pm 40x + 100$ 。

5) 输出电流整定误差

在标准 NB/T 33001 中规定充电机的输出电流整定误差范围为±0.1%,本文规定在输出电流整定误差为限值±0.1%时定义得分为80,在输出电流整定误差为±1%时定义得分为60,且得分和精度值满足线性函数关系 $y = \pm 20x + 100$ 。

2.2 定性指标

定性指标采用专家经验法,并结合指标对充电机的影响程度进行打分,得分越高表明指标性能越稳定。以输入过压保护性能评分举例如下。

输入过压保护:

- 1) 按规定保护值动作 85 分;
- 2) 保护动作值和规定值略有偏差、动作时间略有延时 75 分;
- 3) 动作值和动作时间明显异常 65 分。

3 综合决策评分理论与方法

电动汽车充电机运行状态的异常会对供电网、动力蓄电池和充电机本身产生直接影响,故需要建立一个可以及时准确发现充电机问题的评估模型。本文考虑充电机各指标可能造成的影响,所提出的评估模型可以概括为两步:第一步是将层次分析法和熵权法结合确定指标的综合权重;第二步是利用模糊综合评价的方法对充电机进行评分。

3.1 层次分析法(AHP)

层次分析法(AHP)是二十世纪70年代初由美国教授萨蒂(T.L.Santy)提出的将定性定量结合的权重决策分析方法。利用层次分析法对电动汽车充电机指标主观权重确定步骤如下:

1) 确定层次结构模型

本文对充电机所构建的评估指标体系分为三个层次,即目标层A、准则层B以及指标层C。其中准则层中包含B1、B2、B3三个指标,指标层中包含C31-C38八个指标。

2) 构造判断矩阵

对每一层元素间两两比较,确定出判断矩阵。矩阵中的元素采用1-9标度法进行确定^[15]。

3) 计算权重向量

求出判断矩阵的最大特征根及最大特征根所对应的特征向量,然后通过对所求出的特征向量进行归一化处理,即可得对应指标的权重值。

4) 一致性校验

计算每个判断矩阵的最大特征根及最大特征根

对应的特征向量,将计算出的一致性指标、随机一致性指标和一致性比率进行一致性校验。如果满足要求,那么归一化之后的特征向量即为权向量,否则需要调整判断矩阵中的元素,重新构造判断矩阵,重复上述步骤,直至满足为止。

3.2 熵权法

层次分析法是一种主观赋权的决策方法,无法综合考量客观因素。与之相对,熵权法是一种客观赋权法,两者结合,恰好可以弥补层次分析法的主观随意性^[14]。

熵权法确定权重的步骤如下:

1) 构建原始数据矩阵。设有 m 个评估对象, n 个评估指标,被评估对象 M_i 对指标 D_j 的值记为 x_{ij} ,所形成的原始数据矩阵可以表示为

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

2) 计算第 j 项指标下的第 i 个评估对象的特征比重。将第 j 项指标下的第 i 个评估对象的特征比重记为 p_{ij} ,则有

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \tag{1}$$

3) 计算熵权 w_j

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p(x_{ij}) \ln p(x_{ij}) \tag{2}$$

$$w_j = 1 - e_j / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \tag{3}$$

其中, $k = 1 / \ln(m)$, $k > 1$, 且 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

4) 确定指标的综合权重 A , 其中

$$a_j = \delta q_i + (1 - \delta) w_i \tag{4}$$

式中: q_i 是评估指标的主观权重; w_i 是评估指标的客观权重; δ 是评估指标的主观权重的偏好系数, $0 \leq \delta \leq 1$ 。根据文献[18]中的结论,此处取 $\delta = 0.5$,即充电机各指标的综合权重为主客观权重的算术平均值,保证了权重的准确可靠性。

3.3 模糊综合评估

模糊综合评估是建立在模糊数学理论之上的评价方法。按最大隶属原则,依据评估指标之间存在的隶属度差异,对充电机进行评估^[4]。本文将模糊理论与层次分析法和熵权法相结合,对充电机性能状态进行评估。

具体评估步骤如下:

1) 评语集的确定

本文将充电机性能指标状态的评语集分为故

障、异常、注意、正常、良好五级，即评语集 $V=\{\text{故障、异常、注意、正常、良好}\}=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 。

2) 隶属度函数的确定

根据上述确立的评估指标体系，结合文献[19-21]中隶属函数的模糊集合运算理论，本文将三角形和梯形的模糊分布进行结合，确立了对充电机评分的隶属函数如下：

$$\mu^1(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 95 \\ \frac{1}{10}x + 8.5 & 85 \leq x < 95 \\ 0 & x < 85 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu^2(x) = \begin{cases} -\frac{1}{10}x + 9.5 & 85 \leq x \leq 95 \\ \frac{1}{10}x - 7.5 & 75 \leq x < 85 \\ 0 & x < 75 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu^3(x) = \begin{cases} -\frac{1}{10}x + 8.5 & 75 \leq x \leq 85 \\ \frac{1}{10}x - 6.5 & 65 \leq x < 75 \\ 0 & x < 65 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu^4(x) = \begin{cases} -\frac{1}{10}x + 7.5 & 65 \leq x \leq 75 \\ \frac{1}{10}x - 5.5 & 55 \leq x < 65 \\ 0 & x < 55 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu^5(x) = \begin{cases} 1 & x < 50 \\ -\frac{1}{15}x + \frac{13}{3} & 50 \leq x < 65 \\ 0 & x \geq 65 \end{cases} \quad (9)$$

式中， $\mu^k(x)$ 含义为评语为 k 的隶属函数， $k=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ 分别表示评语为良好、正常、注意、异常、故障的五个等级。评语集得分区间为：故障(0~60)、异常(60~70)、注意(70~80)、正常(80~90)、良好(90~100)。

3) 评分矩阵 R 的确定

将每个指标的原始数据转化成对应的得分后，分别代入上述对应的隶属函数进行单因素评估，得到对应指标的单因素评估集 $R_m = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5}\}$ 。各个指标的单因素评语集所组成的评分矩阵记为 R 。

4) 进行模糊综合评判

在评分矩阵 R 和综合权重 A 已经确定的基础

上，利用公式 $B = A \circ R$ 对各指标构成的评分矩阵进行综合评判，即可得出各指标的模糊综合评估结果向量 B ，同理得出充电机总的模糊综合评价结果向量为 B_T 。

5) 计算综合评分

将模糊综合评估结果代入隶属函数进行反模糊化计算，得到评语集得分 $V_T=(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$ 。利用式(10)计算，即得出充电机综合评分 F 。

$$F = \frac{B_T \cdot V_T}{\sum B_T} \quad (10)$$

电动汽车充电机性能状态评价基本流程如图 1 所示。

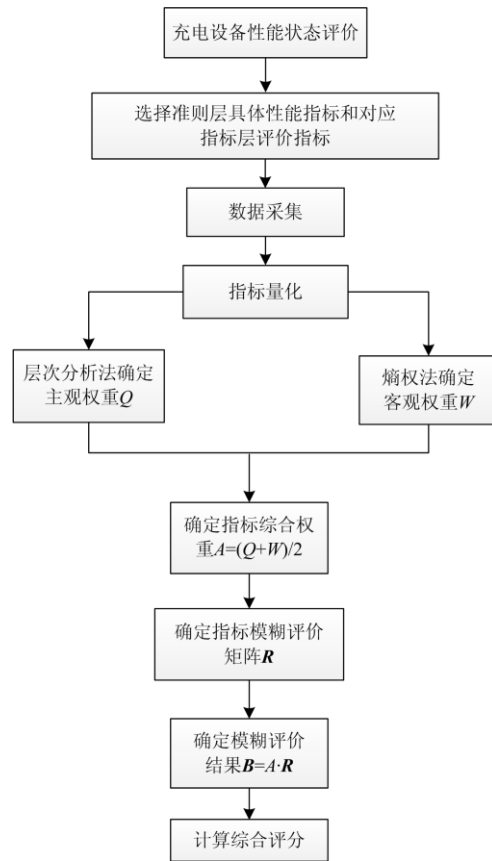


图 1 评价基本流程图

Fig. 1 Evaluation basic flow chart

4 算例分析

选用石家庄某厂家生产的一台充电机，结合充电机测试平台测试得到的数据进行评估。

1) 主观权重的计算。结合充电机工作的特点综合专家意见得出各指标的综合权重。

准则层判断矩阵及主观权重如表 2 所示，其中最大特征根为 3.024 6，随机一致性比率 $CR=0.023 6 < 0.1$ ，满足一致性的要求。

表 2 准则层主观权重

Table 2 Subjective weight of the rule hierarchy

指标	B1	B2	B3	Q0
B1	1	1/4	1/5	0.097 4
B2	4	1	1/2	0.333 1
B3	5	2	1	0.569 5

一般性能的主观权重判断矩阵如表 3 所示, 其中最大特征根为 3.053 6, 随机一致性比率 $CR=0.051 6<0.1$, 满足一致性的要求。

表 3 一般性能主观权重

Table 3 Subjective weight of the general performance

指标	C11	C12	C13	Q1
C11	1	1/2	1/2	0.195 8
C12	2	1	1/2	0.310 8
C13	2	2	1	0.493 4

电气性能的主观权重判断矩阵如表 4 所示, 其中最大特征根为 7.605 1, 随机一致性比率 $CR=0.074 2<0.1$, 满足一致性的要求。

表 4 电气性能主观权重

Table 4 Subjective weight of the electrical performance

指标	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	Q2
C21	1	1	1/2	1/2	3	3	3	0.135 1
C22	1	1	1/2	1/2	3	3	3	0.135 1
C23	2	2	1	1	6	8	8	0.286 5
C24	2	2	1	1	6	8	8	0.286 5
C25	1/3	1/3	1/6	1/6	1	7	7	0.094 3
C26	1/3	1/3	1/8	1/8	1/7	1	1	0.031 3
C27	1/3	1/3	1/8	1/8	1/7	1	1	0.031 3

安全性能的主观权重判断矩阵如表 5 所示, 其中最大特征根为 8.596 2, 随机一致性比率 $CR=$

$0.060 4<0.1$, 满足一致性的要求。

表 5 安全性能主观权重

Table 5 Subjective weight of the safety performance

指标	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38	Q3
C31	1	1	1	1	1/3	1/3	2	1/4	0.064 77
C32	1	1	1	1	1/3	1/3	2	1/4	0.064 77
C33	1	1	1	1	1/3	1/3	2	1/4	0.064 77
C34	1	1	1	1	1/3	1/3	2	1/4	0.064 77
C35	3	3	3	3	1	1	3	1/4	0.157 92
C36	3	3	3	3	3	1	3	1/4	0.194 66
C37	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	0.047 48
C38	4	4	4	4	4	4	3	1	0.340 85

2) 客观权重的计算。根据测试平台在不同时间记录的测试数据和现场运行维护人员及专家经验计算客观权重。

对准则层中一般性能、电气性能和安全性能的得分, 分别取每个子指标的平均得分; 然后, 根据熵权法运算得出指标客观权重。如表 6—表 8 所示。

3) 综合权重的计算如表 9 所示。

表 6 一般性能客观权重

Table 6 Objective weight of the general performance

C11	C12	C13
测试结果/得分	测试结果/得分	测试结果/得分
无异常标识完整/85	无明显污秽/85	适中/80
无异常标识完整/85	无明显污秽/85	适中/80
无异常标识完整/85	无明显污秽/85	适中/80
无异常标识完整/85	无明显污秽/85	适中/80
无异常标识完整/85	无明显污秽/85	适中/80
客观权重	客观权重	客观权重
0.333 3	0.333 3	0.333 3

表 7 电气性能客观权重

Table 7 Objective weight of the electrical performance

C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
标准限值	标准限值	标准限值	标准限值	标准限值	标准限值	标准限值
$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	93	0.98
测量值(%) / 得分值	测量值(%) / 得分值	测量值(%) / 得分值	测量值(%) / 得分值	测量值(%) / 得分值	测量值(%) / 得分值	测量值 / 得分值
0.255/89.80	0.669/86.62	1.697/32.12	0.735/85.30	0.474/81.04	92.926/79.88	0.974/78.50
0.207/91.72	0.572/88.56	1.718/31.28	1.434/71.32	0.426/82.96	93.322/80.92	0.991/91.00
0.220/91.20	0.493/90.14	1.701/31.96	1.56/68.80	0.453/81.88	93.350/80.97	0.997/97.00
0.212/91.52	0.349/93.02	1.699/32.04	1.735/65.30	0.435/82.60	93.679/81.94	0.996/96.00
0.220/91.20	0.321/93.58	1.786/28.56	1.593/68.14	0.41/83.60	93.787/82.22	0.998/98.00
客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重
0.002 9	0.044 9	0.100 8	0.488 3	0.006 1	0.005 5	0.351 5

表 8 安全性能客观权重

Table 8 Objective weight of the safety performance

C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38
测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分	测量情况/得分
按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按整定值限压/85	按整定值限流/85	告警及时/85	合格/80
按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按整定值限压/85	按整定值限流/85	告警及时/85	合格/80
按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按规定保护/85	按整定值限压/85	按整定值限流/85	告警及时/85	合格/80
按规定保护/85	按规定保护/85	略有偏差/75	按规定保护/85	略有偏差/75	按整定值限流/85	告警及时/85	合格/80
按规定保护/85	按规定保护/85	略有偏差/75	按规定保护/85	略有偏差/75	按整定值限流/85	告警及时/85	合格/80
客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重	客观权重
0.000 0	0.000 0	0.500 0	0.000 0	0.500 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表 9 指标综合权重

Table 9 Comprehensive weight of the indicators

权重/指标	一般性能			准则层		
	C11	C12	C13	B1	B2	B3
客观权重	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.000 0	0.230 8	0.769 2
主观权重	0.195 8	0.310 8	0.493 4	0.097 4	0.333 1	0.569 5
综合权重	0.264 6	0.322 1	0.413 4	0.048 7	0.281 9	0.669 4

权重/指标	电气性能						
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
客观权重	0.002 9	0.044 9	0.100 8	0.488 3	0.006 1	0.005 5	0.351 5
主观权重	0.135 1	0.135 1	0.286 5	0.286 5	0.094 3	0.031 2	0.031 2
综合权重	0.069 0	0.090 0	0.193 6	0.387 4	0.050 2	0.018 4	0.191 4

权重/指标	安全性能							
	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38
客观权重	0.000 0	(0.000 0)	0.500 0	0.000 0	0.500 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
主观权重	0.064 8	0.064 8	0.064 8	0.064 8	0.157 9	0.194 7	0.047 5	0.340 8
综合权重	0.032 4	0.032 4	0.282 4	0.032 4	0.329 0	0.097 3	0.023 7	0.170 4

4) 模糊综合评判

将一般性能、电气性能、安全性能模糊运算得出的 B_1 、 B_2 、 B_3 组合，形成充电机总性能的模糊评估矩阵 R_T ，运用公式 $B_T = A_T \circ R_T = (0.0725 \ 0.1152 \ 0.2762 \ 0.4810 \ 0.0095)$ 得出充电机性能隶属度，对 B_T 反模糊化计算，得出对于充电机性能的评语集： $V_T = (63.3665 \ 56.7290 \ 67.5810 \ 78.8370 \ 85.2145)$ 。

最后，根据式(10)得出充电机性能评分 $F = 71.09$ ，可以判断充电机性能状态达到“注意”值，且接近“异常”状态。结合原始数据，对指标层进行分析可判断出输出电压整定误差达到了“故障”值，且输出电流整定误差达到了“异常”值，其他指标都处于正常值，将所得出的评判结果与利用 C# 软件所搭建的测试平台的测试报告进行验证。

其中，测试平台主要由中央控制层、人机交互层、设备层及软硬件接口组成，如图 2 所示。设备

层包括了系统的硬件设备，分为电源模块、负载模块、保护模块和测量模块四部分。人机交互层为测试系统的软件部分，在 Visual Studio 编程环境下，采用 Visual C# 编程语言搭建，负责测试流程的编辑、测试过程的监控、数据的实时显示、测试数据的分析、测试报告的生成。中央控制层为系统测试控制的核心，包含了测试流程控制系统、测试数据采集系统、测试数据分析系统和数据库存储系统，在内部嵌入了虚拟电池管理技术。它通过软件或硬件接口实现与其他设备的通信，执行参数配置、测试启停和数据读取及存储等操作。

给出测试报告中异常性能指标的测试结果如图 3 和图 4 所示。图 3 为输出电压整定误差在标准规定的输入电压和输入频率变化时的测试结果图，显然明显高于标准限定值的 $\pm 0.5\%$ ；图 4 为输出电流整定误差在标准规定的输出电压和输出电流变化范围变化时的测试结果，显然明显高于标准限定值

±1%。由此表明, 所得出的充电机评判结果与测试报告的结果一致, 验证了评估模型的有效性及其指标体系的可靠性。

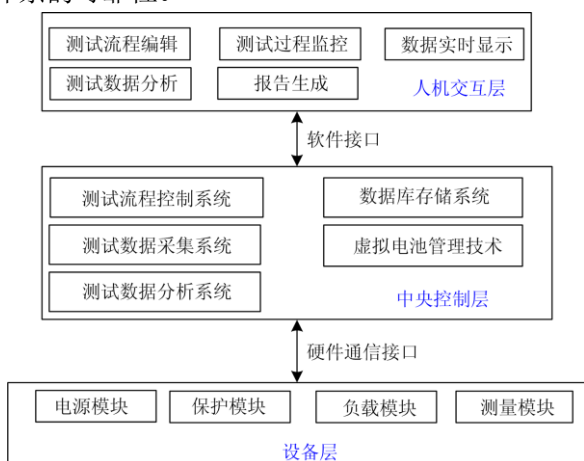


图2 测试平台结构图

Fig. 2 Test flat structure

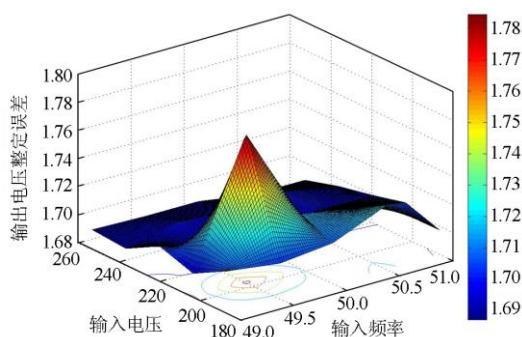


图3 输出电压整定误差测试结果图

Fig. 3 Output voltage setting error test result diagram

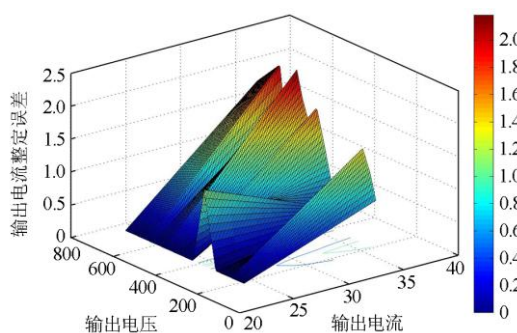


图4 输出电流整定误差测试结果图

Fig. 4 Output current setting error test result diagram

5 结语

文章对充电机性能状态的评估问题进行了研究, 从3个方面选取18个指标构成电动汽车充电机性能状态的评估指标体系, 运用模糊综合评判法对电动汽车充电机进行评估, 最终得出被测充电机的

总体性能健康状况。运维人员可以依据评估结果, 对所测充电机性能健康状况有一个全面的认识并据此展开对应充电机的运维工作。此外, 随着电动汽车充电机检测、安全标准的不断完善以及现场运维数据的不断积累, 可以形成故障经验库, 为电动汽车充电机的现场运维检修提供依据, 并保障充电机安全可靠的运行。

参考文献

- [1] 郭葳, 尹新涛, 王俊霞, 等. 基于曼哈顿距离法的充电桩远程运维系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(13): 134-140.
GUO Wei, YIN Xintao, WANG Junxia, et al. Design of long-distance operation and maintenance system of charging pile based on Manhattan distance method[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(13): 134-140.
- [2] CHENG Y, ZHANG C. Configuration and operation combined optimization for EV battery swapping station considering PV consumption bundling[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 276-293. DOI: 10.1186/s41601-017-0056-y.
- [3] 徐歌, 肖仕武, 丛明一. 电动汽车充电站的短路故障分析与保护[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(7): 150-156.
XU Ge, XIAO Shiwu, CONG Mingyi. Analysis and protection of short circuit faults in electric vehicle charging and discharging stations[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(7): 150-156.
- [4] 贺春, 陈卓, 冯瑾涛, 等. 电动汽车充电安全分析与解决方案[J]. 供用电, 2017, 34(1): 12-18, 50.
HE Chun, CHEN Zhuo, FENG Jintao, et al. Analysis and solution of electric vehicle charging safety[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(1): 12-18, 50.
- [5] 宋伟. 电动汽车充电一体化安全预警防护体系研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
SONG Wei. Research on integrated safety early warning protection system for electric vehicle charging[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [6] 叶健诚, 董晨, 马彦华, 等. 电动汽车充电机性能评价指标体系研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(21): 91-96.
YE Jiancheng, DONG Chen, MA Yanhua, et al. Study on performance evaluation index system of electric vehicle charger[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(21): 91-96.
- [7] 许树伯. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津人民出版社, 1988.

- [8] 陈卫, 杨波, 张兆云, 等. 计及电动汽车充电站接入的配电网承载能力评估与优化[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 27-35, 45.
CHEN Wei, YANG Bo, ZHANG Zhaoyun, et al. Evaluation and optimization of distribution capacity of distribution network considering electric vehicle charging station access[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 27-35, 45.
- [9] 邓红雷, 戴栋, 李述文. 基于层次分析-熵权组合法的架空输电线路综合运行风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 28-34.
DENG Honglei, DAI Dong, LI Shuwen. A comprehensive operation risk assessment of overhead transmission lines based on analytic hierarchy process-entropy weight combination method[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(1): 28-34.
- [10] 朱科屹, 宋娟, 周唯, 等. 电动汽车直流充电桩综合测评指标体系研究[J]. 工业技术创新, 2017, 4(1): 17-21.
ZHU Keyi, SONG Juan, ZHOU Wei, et al. Research on comprehensive evaluation index system of electric vehicle DC charging pile[J]. Industrial Technology Innovation, 2017, 4(1): 17-21.
- [11] 张晶晶, 许修乐, 丁明, 等. 基于模糊层次分析法的变压器状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 75-81.
ZHANG Jingjing, XU Xiule, DING Ming, et al. Transformer state assessment based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(3): 75-81.
- [12] 刘锡正. 电动汽车充电机综合评价指标体系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
LIU Xizheng. Research on comprehensive evaluation index system of electric vehicle charging equipment[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [13] 电动汽车非车载传导式充电机技术条件: NB/T33001—2018[S]. 北京: 中国社会科学出版社, 2018.
Technical requirements for non-vehicle conductive chargers for electric vehicles: NB/T 33001—2018[S]. Beijing: China Social Sciences Press, 2018.
- [14] 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求: GB/T 19826—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
General technical conditions and safety requirements for DC power supply equipment for power engineering: GB/T 19826—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [15] 何逢标. 综合评价方法 Matlab 实现[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2010.
- [16] 陈卫, 杨波, 张兆云, 等. 计及电动汽车充电站接入的配电网承载能力评估与优化[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 27-35, 45.
CHEN Wei, YANG Bo, ZHANG Zhaoyun, et al. Evaluation and optimization of distribution capacity of distribution network considering electric vehicle charging station access[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 27-35, 45.
- [17] WANG Yuyang, XU Luyan, HONG Yan, et al. Fuzzy analytical hierarchy process methods for evaluating the comfort of textiles[C] // 2015 Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2015, Nanchang, China: 502-505.
- [18] 宋海洲, 王志江. 客观权重与主观权重的权衡[J]. 技术经济与管理研究, 2003(3): 62-63.
SONG Haizhou, WANG Zhijiang. The balance between objective weight and subjective weight[J]. Technology Economics and Management Research, 2003(3): 62-63.
- [19] 阳东升, 范帅, 刘子兴, 等. 基于熵值赋权法的配电变压器状态评估方法研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(4): 116-121.
YANG Dongsheng, FAN Shuai, LIU Zixing, et al. Study on state evaluation method of distribution transformer based on entropy weighting method[J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(4): 116-121.
- [20] WANG Fuzhong, HAN Sumin, CAO Bin. A hierarchical fuzzy comprehensive evaluation algorithm for running state of a 6 kV (10 kV) power switch cabinet[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2018, 12.
- [21] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1983.

收稿日期: 2019-03-02; 修回日期: 2019-04-08

作者简介:

颜湘武(1965—), 男, 博士, 博士生导师, 研究方向为新能源电力系统、现代电力变换、新型储能与节能等; E-mail: xiangwuy@163.com

赵帅帅(1990—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电动汽车充换电设施检测; E-mail: zhao2017shuaishuai@163.com

董清(1970—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统鲁棒控制、广域测量系统的应用技术。E-mail: dq.d@163.com